

Contrôle continu de dynamique

Moto de trial électrique



Introduction

La motorisation électrique fait désormais partie intégrante du paysage des deux-roues motorisés. A l'image de l'industrie automobile, la propulsion électrique est le nouveau cheval de bataille de nombreux constructeurs de 2 roues, voire l'unique alternative aux soucis de pollution qu'elle soit chimique ou sonore. Après plusieurs réalisations pour des constructeurs établis, Electric Motion s'est lancé dans la conception de la EM 5.7, une moto de trial loisir électrique.

La conception d'une moto de trial entièrement électrique est une réalisation qui a permis de faire des prouesses d'adaptations en termes de poids, volume, puissance et d'autonomie dans l'environnement particulièrement exigüé qu'est un cadre de moto de trial. Les performances atteintes sont en adéquation avec les besoins d'utilisation et la EM 5.7 est un modèle technologique dans son domaine qui allie performances et respect de l'environnement devenant ainsi la première moto de trial électrique produite en série.

Caractéristiques de la moto

Le moteur électrique

Il s'agit d'un moteur électrique triphasé de type Brushless.

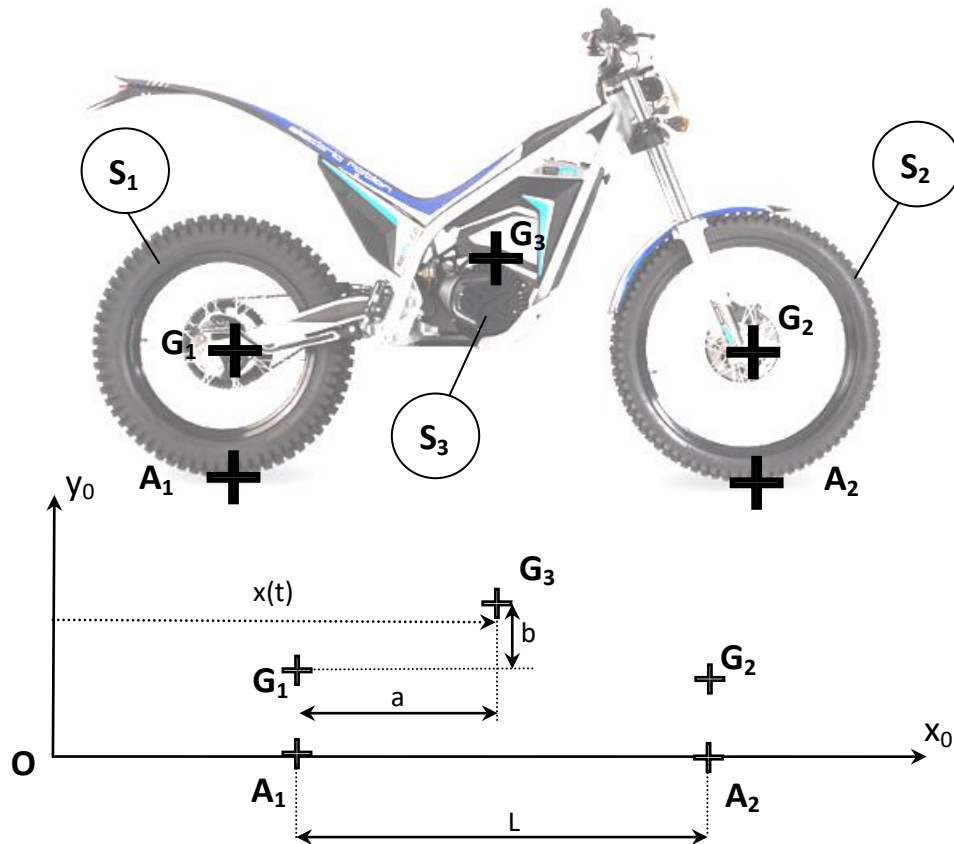
Puissance : 5 kW en continu (12 kW en pic).

Couple : 16 Nm en continu (24 Nm en pic).



Vérification du couple transmissible par le moteur

Problématique : nous cherchons à évaluer si le couple moteur est suffisant pour mettre la moto en mouvement sur la roue arrière (wheeling) sans effort du pilote lors d'une approche d'obstacle.



La moto est modélisée par 3 solides, la roue arrière S1, la roue avant S2 et l'ensemble cadre-moteur-pilote S3. Les roues sont en liaison avec le cadre par des liaisons pivot parfaites.

On suppose le problème plan $(O, \vec{x}_0, \vec{y}_0)$ 0 dans le repère $R_0(O, \vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$, x_0 étant horizontal.

Roue arrière S1 : masse m_1 , de rayon R et de centre de masse G_1 et de moment d'inertie J_1

Roue arrière S2 : masse m_2 , de rayon R et de centre de masse G_2 et de moment d'inertie J_2

Ensemble S3 : masse m_3 , centre de masse G_3

On repère la **position de la moto** par le paramètre $x(t)$ correspondant à l'abscisse de G_3 .

On désigne par θ_i l'angle de rotation de la roue i par rapport au repère R_3 lié à S3.

Le moteur Me exerce sur la roue arrière par la transmission complète, un couple C_{m1} pouvant être modélisé par le torseur suivant :

$$\{\mathcal{J}_{(Me \rightarrow S_1)}\} = \left\{ \begin{array}{l} \overrightarrow{R}_{Me \rightarrow S_1} = \vec{0} \\ \overrightarrow{M}_{G_1, Me \rightarrow S_1} = -C_{m1} \cdot \vec{z} \end{array} \right\}$$

Le contact roue i /sol se fait par des liaisons ponctuelles avec frottements aux points A_i . Les actions du sol sur les roues sont modélisées par le torseur suivant :

$$\{\mathcal{J}_{(sol \rightarrow \Sigma)}\} = \left\{ \begin{array}{l} \overrightarrow{R}_{sol \rightarrow \Sigma} = T_i \cdot \vec{x}_0 + N_i \cdot \vec{y}_0 \\ \overrightarrow{M}_{A_i, sol \rightarrow \Sigma} = \vec{0} \end{array} \right\}$$

Hypothèses :

- On suppose dans un premier temps que les deux roues sont en contact avec le sol et que ce contact roue/sol aux points A_1 et A_2 se fait sans glissement.
- La moto est en mouvement de translation rectiligne.

Questions

- 1) Déterminer l'expression littérale de la vitesse de $\overrightarrow{V_{G_1 \in S_1 / S_3}}$ et $\overrightarrow{V_{A_1 \in S_1 / S_3}}$
- 2) Déterminer l'expression littérale de la vitesse $\overrightarrow{V_{A_1 \in S_3 / R_0}}$ en fonction de $x(t)$
- 3) En exprimant le roulement sans glissement au point A_1 , en déduire une relation entre $\dot{x}(t)$ et $\dot{\theta}(t)$ puis entre $\ddot{x}(t)$ et $\ddot{\theta}(t)$
- 4) Déterminer les expressions littérales des accélérations $\overrightarrow{F_{G_1 \in S_1 / R_0}}$, $\overrightarrow{F_{G_2 \in S_2 / R_0}}$, $\overrightarrow{F_{G_3 \in S_3 / R_0}}$
- 5) Déterminer l'expression littérale du moment cinétique $\overrightarrow{\sigma_{G_1 \in S_1 / R_0}}$ et du moment dynamique $\overrightarrow{\delta_{G_1 \in S_1 / R_0}}$
- 6) En déduire l'expression littérale du moment dynamique $\overrightarrow{\delta_{G_3 \in S_1 / R_0}}$.
- 7) Déterminer l'expression littérale du moment cinétique $\overrightarrow{\sigma_{G_2 \in S_2 / R_0}}$ et du moment dynamique $\overrightarrow{\delta_{G_2 \in S_2 / R_0}}$
- 8) En déduire l'expression littérale du moment dynamique $\overrightarrow{\delta_{G_3 \in S_2 / R_0}}$.
- 9) Déterminer l'expression littérale du moment du moment dynamique $\overrightarrow{\delta_{G_3 \in S_3 / R_0}}$
- 10) En déduire l'expression en G_3 du torseur dynamique $\{\mathcal{D}_{\Sigma / R_0}\}$ de l'ensemble $\Sigma = \{S_1, S_2, S_3\}$ par rapport au repère R_0
- 11) Etablir le bilan des actions mécaniques extérieures appliquées au système Σ isolé, sous forme de torseur (on exprimera tous les torseurs au point G_3)
- 12) Appliquer le principe fondamental de la dynamique à Σ au point G_3 puis démontrer que l'on obtient les équations suivantes :

$$(m_1 + m_2 + m_3) \cdot \ddot{x} = T_1 + T_2$$

$$N_1 + N_2 - (m_1 + m_2 + m_3) \cdot g = 0$$

$$J_1 \cdot \ddot{\theta}_1 + J_2 \cdot \ddot{\theta}_2 + b \cdot \ddot{x} \cdot (m_1 + m_2) = g \cdot [a \cdot m_1 + (a - L) \cdot m_2] + (b + R) \cdot (T_1 + T_2) - a \cdot N_1 + (L - a) \cdot N_2$$

Notre recherche se base sur une situation de début de wheeling (moto en appui uniquement sur la roue arrière)

Hypothèses :

- on suppose que l'angle que fait la moto avec le sol pendant le début de wheeling est constant et très petit ;
- on suppose que l'inertie de la roue arrière vaut $J_1 = m_1 \cdot R_2$;
- on prendra $a = L/2$, $b = L/4$
- on suppose que la roue 2 ne tourne plus soit $\dot{\theta}_2 = 0$

- 13) Simplifier les trois équations à l'instant où la moto commence le wheeling

La condition de roulement sans glissement au point A_1 nous donne : $-R \cdot \ddot{\theta}_1 = \ddot{x}$

On donne les valeurs numériques suivantes :

$$m_1 = 9 \text{ kg}, m_2 = 7 \text{ kg}, m_3 = 56 \text{ kg}, R = R_1 = R_2 = 0.34 \text{ m}, a = L/2, b = L/4, L = 1300 \text{ mm}$$

- 14) Déterminer l'accélération de la moto \ddot{x} dans ce cas en fonction de R, m_1, m_2, m_3, g , et L , donner ensuite le résultat de l'application numérique.

On donne le facteur d'adhérence roue/sol : f

- 15) Déterminer le facteur d'adhérence minimal f_{\min} en fonction de $\ddot{x}(t)$ pour assurer le non glissement de la roue arrière par rapport au sol en A_1 .

Détermination du couple moteur nécessaire : on prendra $\ddot{x} = 10 \text{ m/s}^2$ pour la suite.

- 16) Isoler S_1 , faire le bilan des actions qui lui sont appliquées puis déterminer l'équation de moment dynamique en projection sur l'axe z en G_1 .
- 17) En déduire l'expression du couple C_{m_1} (couple exercé sur la roue arrière) littéralement en fonction de $\ddot{x}(t)$, puis réaliser l'application numérique.
- 18) A partir des caractéristiques de la transmission (rapport de transmission $k = 0,072$), déterminer le couple moteur C_m correspondant et en déduire si le pilote doit exercer une action sur le guidon pour réaliser un wheeling ou non.